doi:10.13866/j.azr.2018.04.02

保水剂与微生物菌剂对土壤水分、养分的影响①

宋双双，孙保平，张建锋，武 毅
（北京林业大学水土保持学院，北京 100083）

摘 要： 保水剂与其他肥料混施，可以在不同程度上改善土壤的水分和养分条件，促进植物生长。通过将聚丙烯酸钾盐型保水剂与微生物菌剂混合对油松、紫花苜蓿进行盆栽试验，通过对低、中、高（油松：10、20、30 g·株$^{-1}$；紫花苜蓿：20、30、40 g·m^{-2}）保水剂和低、中、高（油松：5、10、20 g·株$^{-1}$；紫花苜蓿：15、30、45 g·m^{-2}）微生物菌剂混施，分析土壤水分和土壤中速效氮、磷、钾含量变化，及其对土壤水分、养分和植物生长的影响。结果表明：不同处理不同程度地提高了土壤速效氮、磷、钾含量以及土壤含水量。高浓度保水剂和高浓度微生物菌剂混施对一年生油松土壤速效氮促进最显著，低浓度保水剂和中浓度微生物菌剂混施对土壤速效磷、速效钾促进最显著，分别较对照组提高12%、35%和36%；紫花苜蓿高浓度保水剂和高浓度微生物菌剂混施对土壤速效氮、速效磷促进最显著，低浓度保水剂和中浓度微生物菌剂混施对土壤速效钾促进最显著，分别较对照组提高35%、27%和40%。中浓度保水剂和中浓度菌剂混施处理下土壤保水效果最优，而对油松和紫花苜蓿生长的影响达到最佳的分别为低浓度保水剂与低浓度菌剂混施和低浓度保水剂与中浓度菌剂混施。

关键词： 保水剂；微生物菌剂；保水保肥；植物生长；土壤水分；土壤养分

随着高分子吸水性材料的发展，其高效吸水保水、抗旱节水性能使之在干旱区农林业中得到广泛应用[1]。干旱区环境恶劣，降雨量小，土壤贫瘠，农林发展主要受土壤水分和养分等条件的制约，土地生产力低下。因此，实现干旱区农林可持续发展的关键为改善土壤水分和养分条件[2-5]。保水剂在干旱区农林中的应用可显著改善土壤水分条件，提高土壤持水力，吸附土壤速效养分，减少养分的淋溶流失，实现保水保肥的作用。目前，由于多数保水材料功能单一，将其与其他土壤改良材料的综合应用是目前的研究重点[6-7]。

大量试验证明，不同类型保水剂与化肥、有机肥等肥料混施，可减少土壤养分淋溶，对肥料进行缓释、控释，达到保水保肥作用[8-10]。但研究多集中于提高农作物产量，在干旱造林中应用较少，且化肥、有机肥等利用率低和肥效期短。微生物菌剂含有多种、大量土壤有益菌，相对于传统的化肥、有机肥，其主要作用目标为改善土壤微生物环境、提高土壤活性，从而弥补利用率低和肥效期短等问题，但其应用效果易受土壤水分等条件制约，在造林中应用较少[11-12]。针对以上问题，本研究利用保水剂和微生物肥料的功能互补的原则，探究二者结合对干旱区土壤改良和植物生长的影响。

本研究选择聚丙烯酸钾盐型保水剂与微生物菌剂混合进行盆栽试验，以改善土壤水肥条件和土壤长效活性为出发点，利用保水材料的保水性为微生物存活提供基础条件，利用微生物长期持续活性，通过对土壤养分、水分以及植株生长情况的监测，探究两种材料相结合对土壤改良和植物生长的影响，为保水剂和微生物菌肥料应用于干旱区造林提供一定的参考依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验地点

采用盆栽试验，试验土壤为张北坝上风沙土，于2015年4月由张北县大山尖造林试验地取回，土壤部分理化性质见表1。

① **收稿日期：** 2017-11-28； **修订日期：** 2018-01-29
基金项目： “河北省张家口地区干旱造林保水材料试验研究”（2014HXFWSBXY003）和国家林业局林业公益性行业科研专项经费项目（201004018）
作者简介： 宋双双（1990-）女，博士生，主要从事水土保持工程研究
通讯作者： 孙保平. E-mail：sunbp@163.com

表 1 试验土壤基本理化性质

Tab. 1 Parameters of soil properties.

化学性质								物理性质				
有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	pH	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	田间持水量	饱和含水量
/($g \cdot kg^{-1}$)				/($mg \cdot kg^{-1}$)				/($g \cdot cm^{-3}$)	/%	/%	/%	/%
9.38	0.57	0.28	23.78	54.02	45.68	64.75	8.3	1.46	40.65	37.52	25.84	28.92

1.2 试验材料

保水材料：AG301 型保水剂，台湾塑胶股份有限公司生产的聚丙烯酸钾盐类高分子吸水材料。性状为白色粉末，粒径为 850 ~ 150 μm，密度为 600 ~ 700 $g \cdot L^{-1}$，pH 值为 6 ~ 7，反复吸水 8 ~ 10 次后吸水倍数降低。残留丙烯酸约 350 ppm，无添加丙烯酰胺。

微生物菌剂：山西绿色承诺永宝腐肥有限公司生产的“地力旺”微生物水冲肥，含高活性钾、氨基酸、有益菌、酶活性成分、促酶因子、糖类及多种微量元素，添加有效活菌数≥3×10^9 $cfu \cdot g^{-1}$，主要为固氮菌、光合菌、根瘤菌、解淀粉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌等。

试验植物种：干旱区乡土树种，乔木为一年生油松苗，平均株高 7.55 cm，平均地径 0.35 cm；标准为植株根系完整、长势良好、株高相近。草本为紫花苜蓿，草籽成熟饱满。

1.3 试验设计

试验从 2015 年 4 月开始至 2015 年 12 月结束，包括苗圃盆栽试验以及室内指标测定。苗圃盆栽试验中花盆规格选用 25 cm × 35 cm（直径 × 高），每盆盛试验土均为 2.5 kg。乔木每盆 1 株，草本每盆点播 30 粒。为了研究不同浓度保水剂和微生物菌剂的配比对土壤养分和植物生长产生的影响，两种植物各设置 4 种不同用量，油松（保水剂：0、10、20、30 $g \cdot 株^{-1}$；微生物菌剂：0、5、10、20 $g \cdot 株^{-1}$），紫花苜蓿（保水剂：0、20、30、40 $g \cdot m^{-2}$；微生物菌剂：0、15、30、45 $g \cdot m^{-2}$）进行交叉配比，共计 16 组处理（表 2）。每组进行 5 个重复盆栽。

施用方法：将设计用量的保水剂与相同质量（2.5 kg）的试验土均匀混合后放入相应标记的花盆，微生物菌剂按不同的设计用量兑 1000 mL 水均匀浇入相应标记的花盆中。试验设置塑料棚用以控制水分和养分输入，每月浇水 2 ~ 3 次，每次 1 000 mL，相当于降水 20 mm。

表 2 试验设计和浓度配比

Tab. 2 Different methods of mixed concentration ratio of water – retaining agent and microbial fertilizer

处理	油松/($g \cdot 株^{-1}$)		苜蓿/($g \cdot m^{-2}$)		
	保水剂	微生物菌剂	保水剂	微生物菌剂	
CK	0	0	0	0	对照
A_0B_1	0	5	0	15	低浓度单施
A_0B_2	0	10	0	30	中浓度单施
A_0B_3	0	20	0	45	高浓度单施
A_1B_0	10	0	20	0	低浓度单施
A_1B_1	10	5	20	15	低浓度混施
A_1B_2	10	10	20	30	低中浓度混施
A_1B_3	10	20	20	45	低高浓度混施
A_2B_0	20	0	30	0	中浓度单施
A_2B_1	20	5	30	15	中低浓度混施
A_2B_2	20	10	30	30	中浓度混施
A_2B_3	20	20	30	45	中高浓度混施
A_3B_0	30	0	40	0	高浓度单施
A_3B_1	30	5	40	15	高低浓度混施
A_3B_2	30	10	40	30	高中浓度混施
A_3B_3	30	20	40	45	高浓度混施

注：不同处理用“$A_iB_{j油松/苜蓿}$”表示，其中 A_i（i = 0,1,2,3）为保水剂浓度，B_j（j = 0,1,2,3）为微生物菌剂浓度，其中 $A_0B_{0油松/苜蓿}$ 即为空白对照 $CK_{油松/苜蓿}$。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤理化性质测定 以原风沙土各项指标作为试验土壤基底值，试验组每盆取土样进行理化性质分析，速效氮、速效磷、速效钾等采用常规农化分析方法[13]。

采用 HH2 型土壤水分测定仪测定 10 ~ 15 cm 土层的土壤含水率。土壤平均含水率：在植物正常生长状态下，按照自然条件下土壤水分变化设计土壤含水率，测定频率为 5 d 一次，在生长期内测得的土壤含水率平均值作为土壤平均含水率，反应不同处理对土壤水分含量的影响。干旱胁迫土壤含水率：为进一步探究干旱条件下不同处理对土壤水分影响的差异性，选择紫花苜蓿进行轻度干旱胁迫试验。6 月 25 日对试验盆栽充分浇水，之后进行控水，每隔 5 d 对各实验组土壤含水率进行跟踪测定，至 7 月 15 日结束，共 5 次。

1.4.2 植物生长指标测定 乔木株高测定：分别在

4 月中旬、7 月中旬、10 月中旬以及试验结束时进行株高测量,共 4 次。草本植物生长量测定分别在试验进行 30 d、60 d、90 d 进行平茬,将平茬生物量进行测定;试验结束时将草本完整取出,将地上部分与地下部分分离,分别进行生物量测定。测定方法为,洗净晾干,60 ℃烘干至恒重,用精度为 0.01 g 电子天平进行称量测定[14]。

1.4.3 数据分析 运用 Microsoft Excel 2010、SPSS 20.0 进行处理数据分析,采用 ANVOA 分析,在进行 Levene 方差齐性检验后,采用 Tucky、LSD 和 Tamhane's T2 对数据进行差异性检验。

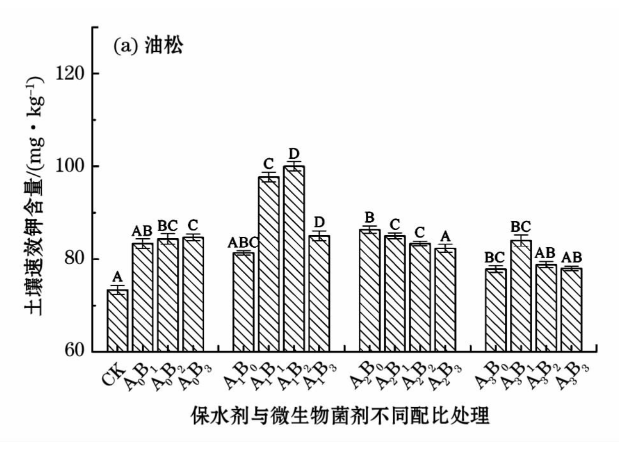
2 结果与分析

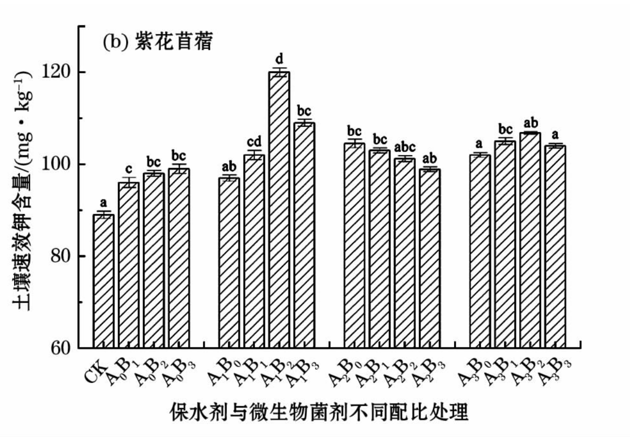
2.1 保水剂与微生物菌剂不同配比对土壤速效养分的影响

施加土壤改良剂的主要目的是提高土壤速效养分含量。土壤速效养分是能够直接被植物吸收利用的水溶态和交换态养分,主要来源于土壤有机质的分解和无机固态氮磷钾向水溶态、交换态的转化,速效养分含量的高低代表土壤肥力的高低。土壤改良剂的保氮释磷促钾作用能为植物提供可吸收利用的养分,对促进植物生长具有重要意义。

2.1.1 不同材料配比对土壤速效钾的影响 油松和苜蓿各组处理结果分析显示,不同浓度梯度均与对照(CK)在土壤速效钾含量表现出显著差异(图 1),且均大于对照组。单施情况下,油松和紫花苜蓿土壤速效钾含量随保水剂施用浓度的增大呈先增加后减小的趋势,随微生物菌剂施用浓度的增大而增加。混施情况下,低浓度和高浓度保水剂处理下,土壤速效钾含量均随微生物菌剂用量的增加呈先增加后减少的趋势;中浓度保水剂处理下,土壤速效钾含量随微生物菌剂减少而降低。相同微生物菌剂用量,土壤速效钾含量随着保水剂用量的增加变化不明显。过高的保水剂或微生物菌剂的含量对土壤中速效钾含量的作用较低,速效钾在高浓度混施条件下比对照组增加 2.73% ~15.73%,而较低的保水剂或菌剂的含量可以在很大程度上提高土壤中速效钾的含量。土壤中速效钾的最佳含量均出现在低浓度保水剂和中浓度微生物菌剂混施处理下,分别为:$A_1B_{2\,油松}$:100 mg·kg^{-1},$A_1B_{2\,苜蓿}$:125 mg·kg^{-1}。较对照提高 36.37% 和 40.45%。

试验结果表明,保水剂和微生物菌剂显著促进土壤速效钾含量。保水剂能有效减少速效养分的淋溶流失,其对土壤养分保持效果最好的是速效钾,其次是速效氮[15-18]。本实验中,在避免有效养分的淋溶损失的情况下土壤速效钾含量仍呈现出一定规律的变化,表明保水剂可能通过改善土壤水分条件,间接促进土壤非交换性钾向交换性钾和水溶性钾的转化,继而提高土壤速效钾含量。保水剂浓度过高会抑制土壤微生物呼吸,降低土壤速效钾的转化。施加微生物菌肥可增加土壤微生物含量,提高微生物活性,促进微生物群落发展,促进有机质分解[19]。低浓度保水剂可改善土壤水分环境,为微生物提供最佳生存环境,促进了土壤中解钾微生物的活性,高





注:ABC 表示油松土壤速效钾含量不同处理组间在 5% 水平上的差异,abc 表示紫花苜蓿土壤速效钾含量不同处理组间在 5% 水平上的差异(下同)。不同处理用"$A_iB_{j\,油松/苜蓿}$"表示,其中 A_i(i=0,1,2,3)为保水剂浓度,B_j(j=0,1,2,3)为微生物菌剂浓度,空白对照 $CK_{油松/苜蓿}$。

图 1 油松和紫花苜蓿盆栽中土壤速效钾在保水剂和微生物菌剂不同配比处理下的含量变化

Fig. 1 Variation of soil available potassium content under different mixed fertilizer methods.

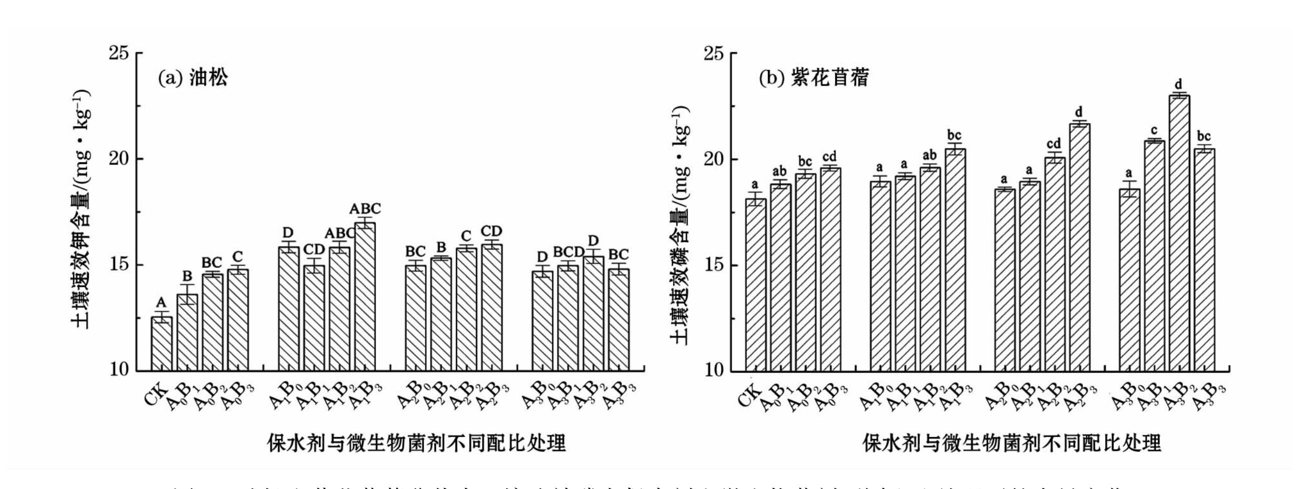


图2 油松和紫花苜蓿盆栽中土壤速效磷在保水剂和微生物菌剂不同配比处理下的含量变化

Fig. 2 Variation of soil available phosphorus content under different mixed fertilizer methods.

浓度微生物菌剂由于其浓度过高，反而抑制其微生物群落的繁殖，从而降低土壤微生物活性，解钾作用降低[20]。施加适量的保水剂和微生物菌剂能显著促进速效钾含量，达到土壤改良的目的，提高植物对速效钾的利用，促进植物生长。

2.1.2 不同材料配比对土壤速效磷的影响 对施加不同浓度保水剂和微生物菌剂的土壤速效磷含量进行对比分析可知(图2)，在施加了保水剂和生物菌剂后，油松和紫花苜蓿不同处理组速效磷的含量均高于对照组(CK)。整体来看，紫花苜蓿土壤速效磷平均含量要高于油松。单施处理下，油松和苜蓿土壤速效磷呈现相同变化规律。保水剂单施土壤速效磷含量最高为 $A_1B_{0\text{油松/苜蓿}}$ 组，与其他3组之间差异显著，分别较对照 $CK_{\text{油松}}$、$CK_{\text{苜蓿}}$ 高出26%和5%，$A_2B_{0\text{油松/苜蓿}}$ 和 $A_3B_{0\text{油松/苜蓿}}$ 均高于对照，但2组处理之间无显著差异。微生物菌剂单施各处理组较对照组差异明显，且土壤速效磷随微生物菌剂浓度的增大呈现增加趋势，最高为 $A_0B_{3\text{油松/苜蓿}}$，分别高于对照($CK_{\text{油松}}$)18%和($CK_{\text{苜蓿}}$)14%。混施情况下，各保水剂相同的处理组中，油松土壤速效磷含量 $A_1B_{j\text{油松}}$ 整体高于其他各组，其中，最高为 $A_1B_{3\text{油松}}$，高于对照组($CK_{\text{油松}}$)35%。苜蓿土壤速效磷含量 $A_3B_{j\text{苜蓿}}$ 各组整体优于其他处理组，其中，最高为 $A_3B_{2\text{苜蓿}}$，高于对照组($CK_{\text{苜蓿}}$)27%。另外，只有油松保水剂为 A_1 时，单施保水剂处理组优于保水剂与低、中浓度微生物菌剂混施处理，其余各组在相同保水剂或者相同微生物菌剂浓度时，混施处理均优于单施处理。

微生物的生存需要维持在一定的肥料浓度下，但过高的生物菌剂浓度会抑制微生物的生长[21-22]，因此速效磷含量随微生物菌肥浓度增大到一定程度后减小。土壤速效磷是可被植物直接吸收利用的磷组分，主要包括土壤中水溶性磷、部分吸附性磷和部分有机磷。施加保水剂可显著改善土壤水分条件，提高磷的扩散系数，提高有效磷含量。施加微生物菌剂能显著增加土壤微生物含量，改善土壤水分为微生物生长创造条件，提高微生物活性，促进土壤微生物对无机固定态磷的溶解作用、对有机磷的矿化作用和微生物对磷的固持作用[23]。在土壤中施加适当浓度的保水剂和微生物菌剂对土壤速效磷具有显著促进作用，提高植物可吸收利用的有效磷含量，达到土壤改良的目的。

2.1.3 不同材料配比对土壤速效氮的影响 油松和紫花苜蓿在不同配比条件下速效氮的含量均高于对照组(CK)(图3)。单施微生物菌剂不同处理下，油松土壤速效氮含量最高为 A_0B_1，苜蓿为 A_0B_2。单施保水剂各组土壤速效氮均高于对照，土壤速效氮含量最高为 $A_1B_{0\text{油松}}$ 和 $A_1B_{0\text{苜蓿}}$，分别高出对照组($CK_{\text{油松}}$)10%和($CK_{\text{苜蓿}}$)32%。低浓度保水剂处理下，混施微生物菌剂后各组处理均低于单施保水剂处理；中、高浓度保水剂处理下，混施微生物菌剂后各处理组土壤速效氮含量高于单施保水剂。保水剂相同用量下，土壤速效氮含量随微生物菌剂浓度增大均呈增大的趋势，土壤速效氮含量最高的处理为 A_3B_3，较对照组 $CK_{\text{油松}}$、$CK_{\text{苜蓿}}$ 分别高出12%和35%。

紫花苜蓿土壤速效氮平均含量均高于油松，除了保水剂和生物菌肥的影响外，还与紫花苜蓿自身的固氮能力有关[24]。单施低浓度保水剂处理和高

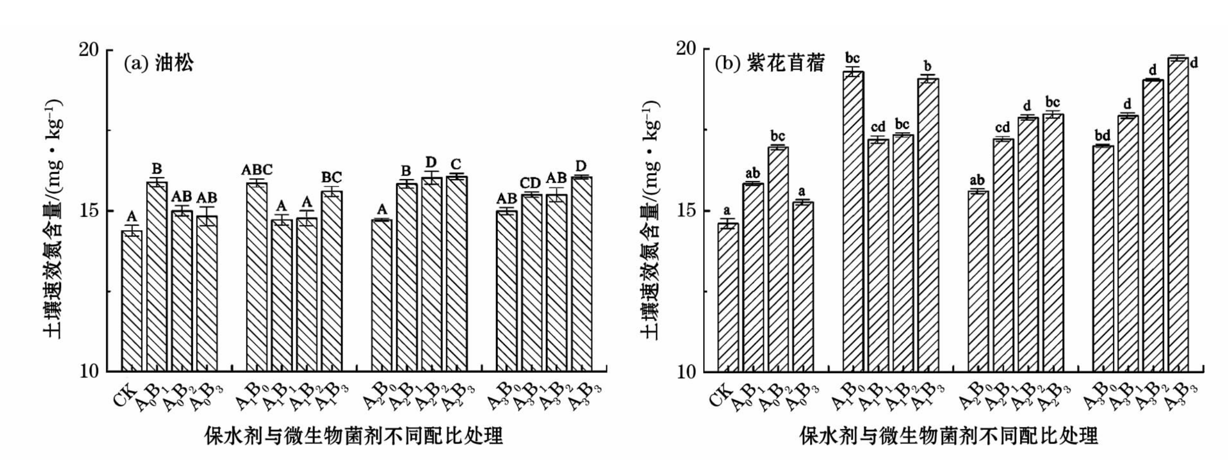


图 3　油松和紫花苜蓿盆栽中土壤速效氮在保水剂和微生物菌剂不同配比处理下的含量变化

Fig. 3　Variation of soil available nitrogen content under different mixed fertilizer methods.

浓度混施处理对土壤速效氮含量提高作用最大。施加保水剂后增加土壤速效氮一方面是保水剂对土壤速效养分的吸附作用[25],另一方面是土壤水分条件的改善,在一定程度上促进了土壤固氮微生物的活性,促使有效氮的转化。混施处理下,因保水剂对铵态氮有明显的吸附作用[25],在保水剂含量一定时,其吸肥量随养料的增加而增加。施加一定量的保水剂和微生物菌剂对土壤速效氮含量提高、保水剂对氮肥吸附缓释和微生物菌剂对速效氮转化的促进达到土壤改良目的。

2.2　不同材料配比对土壤含水率的影响

由图 4 显示,不同处理下平均土壤含水率都未超过原始土壤的田间持水量。施加保水剂能增加土壤含水率,且随保水剂浓度的增加,土壤含水率增加;单施微生物菌剂对土壤含水率促进效果不明显。保水剂浓度不变时,与微生物菌剂混施各组土壤含水率均高于该浓度保水剂单施,这表明微生物菌剂能一定程度促进保水剂涵养水分的作用。高浓度保水剂与中浓度微生物菌剂混施对土壤平均含水率提高作用最显著,较对照组提高 44%。高浓度保水剂处理下土壤含水率与低浓度处理下相差不大,只在干旱胁迫下才显现出对土壤水分的显著影响。

在干旱胁迫下不同处理土壤含水率和正常给水条件下对土壤平均含水率进行分析(图 4)。在 1 d 进行充分浇水后,测定的土壤含水率均处于 35% ~ 40%。5 d 的土壤水分含量仍处在较高水平。各处理组土壤含水率均略高于对照组 CK(A_0B_0),其中 A_0B_3 表现出最高土壤含水率,比对照组高 14%。对 10 d、15 d 测定结果趋势一致,各处理组与对照组之间土壤含水率差异较大。施加保水剂的各处理土壤含水率均高于未添加保水剂的处理,且土壤含水率随保水剂浓度增加而增大。在单施微生物菌剂和低、中保水剂浓度各组中,土壤含水率随微生物菌剂用量的增加而增大,且混施组均高于该保水剂浓度单施处理,即 $A_iB_3 > A_iB_2 > A_iB_1 > A_iB_0 (i = 0,1,2)$,对于高浓度保水剂 A_3B_j 的 4 组处理下,其关系:$A_3B_2 > A_3B_3 > A_3B_1 > A_3B_0$。

保水剂能显著提高土壤含水率,一方面保水剂亲水网状结构能够吸附大量水分,同时,保水剂增加土壤空隙度,提高土壤田间持水量[26]。随着保水剂浓度的提高,土壤水分含量增大,用量越大,土壤含水率减少的趋势就越小[27]。干旱胁迫试验结果表明,保水剂显著提高土壤有效水分含量。干旱胁迫前期,混施各处理土壤含水率均高于同等水平单施处理;干旱胁迫后期,保水剂与高浓度微生物菌剂混施效果较差。这说明适当浓度微生物菌剂对保水剂

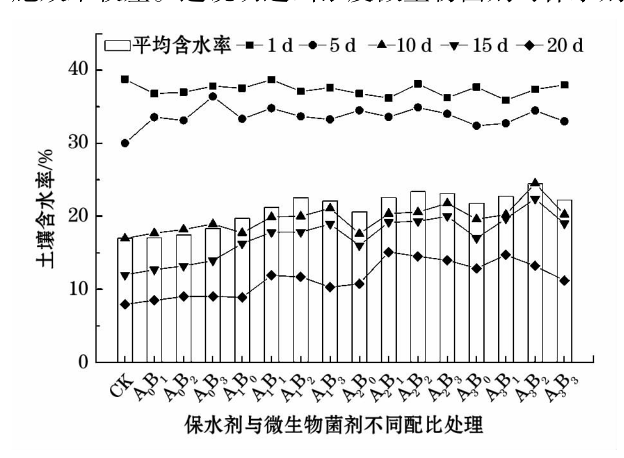


图 4　正常条件下和干旱胁迫下土壤含水率随保水剂和微生物菌剂不同配比处理的变化规律

Fig. 4　Variation of soil moisture content with different drought stress and mixed fertilizer methods.

的保水效果具有一定促进作用，但当微生物菌剂浓度过高时，一方面高浓度菌剂对土壤水分产生影响，降低土壤有效水分含量；另一方面，土壤微生物的繁殖增强，土壤中水分被部分消耗，保水剂保水效果降低[28]。

2.3 保水剂与微生物菌剂不同配比对植物生长的影响

2.3.1 不同配比对油松株高的影响 通过对油松株高的测量表明，其生长趋势随保水剂和微生物菌剂浓度梯度呈现出一定规律（表5）。单施情况下，株高增量均显著高于对照组，且增量幅度随保水剂浓度增加而降低，而随微生物菌剂浓度的增加而增大。株高增量最大值出现在 A_1B_0 和 A_0B_3，分别较对照组（CK）高出64%和46%。混施条件下，保水剂用量一定时，株高增量幅度随微生物菌剂浓度增加而降低，且与低浓度菌剂混施处理组株高均高于该浓度保水剂单施组，$A_1B_j(j=0,1,2,3)$ 4组与对照组差异最为明显，其中 A_1B_1 处理油松株高增量最大，平均增量10.03 cm，高出对照组98%。微生物菌剂用量一定时，低、中浓度保水剂混施组株高增量均高于该浓度菌剂单施，株高增量幅度随保水剂浓度增加而降低，高浓度微生物菌剂与不同浓度保水剂混施均低于该浓度微生物菌剂单施。

试验结果表明施加保水剂和微生物菌剂显著促进植物生长。两种材料的施加提高了土壤中可被植物吸收利用的有效水分含量[29]，同时提供植物生长必需的养分。在高浓度保水剂、微生物菌剂混施情况下，植物对土壤水分、养分利用效率要低于中、低浓度的混施，一方面高浓度养分导致土壤溶液渗透压增大，进而抑制植物根系对水肥的吸收[30]；另一方面，根据对不同处理下土壤中速效养分含量的分析结果表明，高浓度的处理使土壤中可供植物吸收利用的水分养分含量明显高于植物本身生长所需的水分和养分，因此不再对植物生长产生显著促进作用[31]。

2.3.2 不同配比对紫花苜蓿生物量的影响 单一施用时，单施保水剂3个处理均显著高于对照，A_1B_0 表现最好，A_1B_0、A_2B_0、A_3B_0 分别比对照（CK）高86%、37%和60%。单施微生物菌剂处理下，A_0B_1、A_0B_2、A_0B_3 分别比对照（CK）高40%、42%和59%，生物量随着微生物菌剂用量增加而增加。在混施处理下，A_1B_2、A_1B_1、A_1B_3 表现出最大的生物量增量，分别比对照组生物量高86%、75%和59%。低浓度保水剂与不同浓度菌剂混施处理下，苜蓿生物量均高于中、高浓度保水剂与不同浓度菌剂混施处理，即 $A_1B_j > A_2B_j(j=1,2,3)$，$A_1B_j > A_3B_j(j=1,2,3)$ 而 A_2B_j 与 $A_3B_j(j=1,2,3)$ 各组间对照差异不显著；相同保水剂浓度下，生物量随微生物菌剂用量

表5 保水剂与微生物菌剂不同配比处理下油松株高生长量

Tab.5 The increment of Pinus tabulaeformis under different mixed fertilizer methods.

处理	株高生长量/cm	较CK株高增长率/%
CK	5.07±0.23a	0
A_0B_1	5.30±0.11a	4.5
A_0B_2	6.10±0.17ab	20.3
A_0B_3	7.40±0.32abc	46.0
A_1B_0	8.30±0.32bc	63.7
A_1B_1	10.03±1.22c	97.9
A_1B_2	8.57±1.28bc	69.0
A_1B_3	7.40±1.07abc	46.0
A_2B_0	7.40±0.86abc	46.0
A_2B_1	9.20±1.02c	81.5
A_2B_2	7.97±0.58abc	57.1
A_2B_3	5.40±1.07ab	6.5
A_3B_0	7.20±0.25abc	42.0
A_3B_1	8.07±0.36bc	59.1
A_3B_2	6.33±0.40ab	24.9
A_3B_3	5.93±0.74ab	17.0

注：小写字母表示各个处理在5%水平上的差异，下同。

表6 保水剂与微生物菌剂不同配比处理下紫花苜蓿的生物量

Tab.6 The increment of Medicago sativa under different mixed fertilizer methods.

处理	生物量/g			较CK生物量提高率/%
	地上	地下	总体	
CK	12.0±0.47	12.3±0.60	24.3±0.81a	0
A_0B_1	14.4±0.21	19.7±0.60	34.1±1.14b	40.3
A_0B_2	13.8±1.42	20.7±0.40	34.5±0.40b	41.9
A_0B_3	17.5±1.11	21.3±0.52	38.7±1.58c	59.4
A_1B_0	19.2±0.20	25.0±1.18	44.2±0.98d	81.9
A_1B_1	17.4±0.78	25.2±0.81	42.6±0.52c	75.4
A_1B_2	21.6±0.36	23.7±1.08	45.3±1.44d	86.3
A_1B_3	18.5±0.90	20.1±0.62	38.6±0.32c	58.7
A_2B_0	19.1±0.40	14.1±0.10	33.2±0.30b	36.6
A_2B_1	12.0±0.21	14.1±0.35	26.1±0.60a	7.3
A_2B_2	11.9±0.25	14.7±0.50	26.7±0.49a	9.7
A_2B_3	12.0±0.53	11.6±0.25	23.6±0.51a	-3.0
A_3B_0	22.5±0.50	16.5±0.50	39.0±0.40c	60.5
A_3B_1	12.3±0.71	12.8±0.50	25.1±0.26a	3.4
A_3B_2	15.8±0.51	10.4±0.21	26.2±0.72a	7.8
A_3B_3	12.5±0.51	12.6±0.61	25.1±1.10a	3.3

浓度的增大无明显变化。从整体来看,单施保水剂 > 低中浓度混施 > 单施微生物菌剂 > 中高浓度混施,整体平均生物量分别比对照组高 61%、36.6%、35.8% 和 27.7%。

保水剂用量对紫花苜蓿的产草量有很大的提高,在干旱区水分条件较差的环境下,草本植物生长受到很大的抑制,改善土壤的水分条件可以提高草本植物的生长[32-33]。微生物的增加,提高土壤有效养分的转化,促进了植物根系对矿质营养的吸收和利用,改善了根际环境,提高了促进植物生长的代谢物的产生[34]。

保水剂与微生物菌剂对土壤具有保氮释磷促钾效应,对土壤速效氮磷钾含量具有显著促进作用,提高土壤中可供植物吸收利用的有效养分,同时提高土壤水分含量,为植物生长提供有效水分来源。不同植物对水分和各种养分的利用率不同,油松土壤速效氮、磷、钾提高效果最好的处理分别为 A_3B_3、A_1B_3、A_1B_3,油松株高最好为 A_1B_1;苜蓿土壤速效氮、磷、钾、土壤水分含量提高效果最好的处理分别为 A_3B_3、A_3B_2、A_1B_2、A_3B_2,苜蓿生物量最大的处理为 A_1B_2。但是,对于特定区域的植物生长,由于土壤条件存在差异,土壤养分和水分特征不同,采用不同浓度配比的保水剂和微生物菌剂需要考虑实际条件,有针对性的选择合理的浓度配比,实现保氮释磷促钾的作用。

3 结论

(1)保水剂和微生物菌剂不同浓度混施处理可不同程度的提高土壤中速效氮、速效磷、速效钾的含量,不同处理对油松和紫花苜蓿土壤速效养分含量影响的变化趋势相似,但不同处理对紫花苜蓿土壤速效养分的影响程度强于油松。提高土壤速效磷和速效钾的含量能够显著提高油松的生长,而通过促进土壤速效钾的转化可以显著提高紫花苜蓿的生物量。

(2)不同处理对土壤保氮释磷促钾效益存在差异,在低浓度保水剂和中浓度微生物菌剂处理下,土壤中速效钾的含量达到最大。油松微生物菌剂与低浓度保水剂混施的土壤释磷作用最好,紫花苜蓿则与高浓度保水剂混施的土壤释磷作用最好。高浓度的保水剂和微生物菌剂会显著提高土壤速效氮的含量,进而促进速效氮的缓释作用。

(3)保水剂能够显著增加土壤含水量,且浓度越高土壤含水率越大,但随干旱胁迫时间增加,其水分涵养的作用减弱。混施中浓度微生物菌肥能够显著增强土壤固持水分的能力,但过高的微生物菌剂用量会降低保水剂的保水效果。

参考文献(References):

[1] 宋明元,吕贻忠,李丽君,等. 土壤综合改良措施对科尔沁风沙土保水保肥能力的影响[J]. 干旱区研究,2016,33(6):46-46.[Song Mingyuan, Lv Yizhong, Li Lijun, et al. Effects of comprehensive improvement measures on moisture and fertility conservation capacity of aeolian sandy soil[J]. Arid Zone Research, 2016,33(6):46-46.]

[2] 张朝巍,董博,郭天文,等. 施肥与保水剂对半干旱区马铃薯增产效应的研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(6):152-156.[Zhang Chaowei, Dong Bo, Guo Tianwen, et al. Effects of fertilization and water retaining agent on yield of potato[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011,29(6):152-156.]

[3] 丁林,王以兵,李元红,等. 干旱区辣椒全膜垄作沟灌与保水剂配合节水技术研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):77-82.[Ding Lin, Wang Yibing, Li Yuanhong, et al. Experimental study on water saving technology of pepper under furrow irrigation in ridge culture with full film-covering combined with water-holding agent in arid area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011,29(2):77-82.]

[4] 岑睿,屈忠义,于健,等. 保水剂对半干旱区砂壤土水分运动的影响试验研究[J]. 干旱区资源与环境,2016 30(2):122-127.[Cen Rui, Qu Zhongyi, Yu Jian, et al. Experimental research on sandy soil infiltration and evaporation effects of adding super absorbent polymers in semi-arid region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016 30(2):122-127.]

[5] 白文波,宋吉青,李茂松,等. 保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. 农业工程学报,2009 25(2):18-23.[Bai Wenbo, Song Jiqing, Li Maosong, et al. Effect of super absorbent polymer on vertical infiltration characteristics of soil water[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009,25(2):18-23.]

[6] 庄文化,冯浩,吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展[J]. 农业工程学报,2007,23(6):265-270.[Zhuang Wenhua, Feng Hao, Wu Pute. Development of super absorbent polymer and its application in agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(6):265-270.]

[7] 黄占斌,辛小桂,宁荣昌,等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):11-14.[Huang Zhanbin, Qin Xiaogui, Ning Rongchang, et al. The application and development trend of aquasorb in agricultural production[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003,21(3):11-14.]

[8] Haveroen M E, MacKinnon M D, Fedorak P M. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia from various wastewaters[J]. Water Research, 2005,39(14):3 333-3 341.

〔9〕 Sojka R E, Entry J A, Fuhrmann J J. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil〔J〕. Applied Soil Ecology, 2006, 32(2):243－252.

〔10〕 王艳. 灌溉方式、生物碳和有机肥对温室土壤碳及酶活性的影响〔J〕. 干旱区研究, 2016, 33(3):461－466.〔Wang Yan. Effects of irrigation mods, biochar and organic fertilizer on soil carbon content and soil enzyme activity in greenhouse〔J〕. Arid Zone Research, 2016, 33(3):461－466.〕

〔11〕 曹诗瑜, 郭全恩, 车宗贤, 等. 磷石膏改良剂对土壤水分扩散率的影响〔J〕. 干旱区研究, 2016, 33(3):506－510.〔Cao Shiyu, Guo Quan'en, Che Zongxian, et al. Studies on microbial fertilizer and its application prospects in improving arable land quality〔J〕. Arid Zone Research, 2016, 33(3):506－510.〕

〔12〕 张密密, 陈诚, 刘广明, 等. 适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量〔J〕. 农业工程学报, 2014, 30(10):91－98.〔Zhang Mimi, Chen Cheng, Liu Guangming, et al. Suitable utilization of fertilizer and soil modifier to ameliorate physicochemical characteristics of saline－alkali soil and increase crop yields〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10):91－98.〕

〔13〕 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法〔M〕. 北京:中国农业科技出版社, 2000.〔Lu Rukun. Soil argrochemistry analysis protocoes〔M〕. Beijing:China Agriculture Science Press, 2000.〕

〔14〕 李建明, 潘铜华, 王玲慧, 等. 水肥耦合对番茄光合, 产量及水分利用效率的影响〔J〕. 农业工程学报, 2014, 30(10):82－90.〔Li jianming, Pan Tonghua, Wang Linghui, et al. Effects of water－fertilizer coupling on tomato photosynthesis, yield and water use efficiency〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10):82－90.〕

〔15〕 王文静, 王百田, 吕钊, 等. 聚合物类保水剂对山杏水肥利用效应的影响〔J〕. 水土保持通报, 2013, 33(5):280－284.〔Wang Wenjing, Wang Baitian, Lv Zhao, et al. Effects of super absorbent polymer on water and fertilizer use of *Prunus armeniaca*〔J〕. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(5):280－284.〕

〔16〕 范富, 张庆国, 侯迷红, 等. 保水剂对不同质地土壤保肥性影响的研究〔J〕. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6):115－120.〔Fan Fu, Zhang Qingguo, Hou Mihong, et al. Effects of super absorbent polymer on nutrient retaining property in soils with different textures〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(6):115－120.〕

〔17〕 廖人宽, 杨培岭, 任树梅. 高吸水树脂保水剂提高肥效及减少农业面源污染〔J〕. 农业工程学报, 2012, 28(17):1－10.〔Liao Renkuang, Yang Peiling, Ren Shuhai, et al. Review on super absorbent polymer application for improving fertilizer efficiency and controlling agricultural non－point source pollutions〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(17):1－10.〕

〔18〕 刘晓莉. 保水剂的保肥性能研究〔D〕. 合肥:安徽农业大学, 2006.〔Liu Xiaoli. Study on the Properties of Water Retention Agent〔D〕. Hefei :Anhui Agriculture University, 2006.〕

〔19〕 Yu C, Hu X M, Deng W, et al. Changes in soil microbial community structure and functional diversity in the rhizosphere surrounding mulberry subjected to long－term fertilization〔J〕. Applied Soil Ecology, 2015, 86:30－40.

〔20〕 张爱民, 李乃康, 赵钢勇, 等. 土壤中解磷、解钾微生物研究进展〔J〕. 河北大学学报(自然科学版), 2015, 35(4):442－448.〔Zhang Aimin, Li Naikang, Zhao Gangyong, et al. Research progress on the phosphate－solubilizing and potassium－solubilizing microorganisms〔J〕. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2015, 35(4):442－448.〕

〔21〕 Sotomayor－Ramírez D, Espinoza Y, Acosta－Martínez V. Land use effects on microbial biomass C, β－glucosidase and β－glucosaminidase activities, and availability, storage, and age of organic C in soil〔J〕. Biology and Fertility of Soils, 2009, 45(5):487－497.

〔22〕 张四海, 黄健, 骆争荣, 等. 添加秸秆和磷素对土壤微生物群落的影响〔J〕. 应用生态学报, 2014, 25(3):797－802.〔Zhang Sihai, Huang Jian, Lu Zhengrong, et al. Effect of adding different amounts of wheat straw and phosphorus on soil microorganism community〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(3):797－802.〕

〔23〕 黄敏, 吴金水, 黄巧云, 等. 土壤磷素微生物作用的研究进展〔J〕. 生态环境, 2003, 12(3):366－370.〔Huang Min, Wu Jinshui, Huang Qiaoyun, et al. Process in research on microbiological action of soil phosphorus〔J〕. Ecology and Environment, 2003, 12(3):366－370.〕

〔24〕 刘晓静, 蒯佳林, 李文卿, 等. 硝态氮与铵态氮对紫花苜蓿根系生长及结瘤固氮的影响〔J〕. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(5):106－110.〔Liu Xiaojing, Kuai Jialin, Li Wenqing, et al. Effects of NO_3^-－N and $NH4_-^+$－N on root growth, nodulation and nitrogen－fixation of alfalfa〔J〕. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(5):106－110.〕

〔25〕 李长荣, 邢玉芬, 朱健康, 等. 高吸水性树脂与肥料相互作用的研究〔J〕. 北京农业大学学报, 1989, 15(2):187－192.〔Li Changrong, Xing Yufen, Zhu Jiankang, et al. Study on the interaction of high water absorbable resin and fertilizer〔J〕. Journal of China Agricultural University, 1989, 15(2):187－192.〕

〔26〕 Li X, He J Z, Hughes J M, et al. Effects of super－absorbent polymers on a soil－wheat (Triticum aestivum L.) system in the field〔J〕. Applied Soil Ecology, 2014, 73(1):58－63.

〔27〕 王娟, 江天才, 万素梅. 水分胁迫下间作棉田土壤水分及产量分析〔J〕. 干旱区研究, 2016, 33(1):89－93.〔Wang Juan, Jiang Tiancai, Wan Sumei. Analysis on the soil moisture and yield under water stress for an intercropping field of cotton〔J〕. Arid Zone Research, 2016, 33(1):89－93.〕

〔28〕 王金凤, 康绍忠, 张富仓, 等. 控制性根系分区交替灌溉对玉米根区土壤微生物及作物生长的影响〔J〕. 中国农业科学, 2006, 39(10):2 056－2 062.〔Wang Jinfeng, Kang Shaozhong, Zhang Fucang, et al. Effects of Controlled Alternate Partial Rootzone Irrigation on Soil Microorganism and Growth of Maize〔J〕. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(10):2 056－2 062.〕

〔29〕 Islam M R, Hu Y, Mao S, et al. Effectiveness of a water－saving super－absorbent polymer in soil water conservation for corn (*Zea mays* L.) based on eco－physiological parameters〔J〕. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2011, 91(11):1 998－2 005.

〔30〕安琪,李红影. 保水剂对土壤水分蒸发及荆芥干旱胁迫下生长的影响〔J〕. 安徽农业科学,2011,39(27):16 590 – 16 592.〔An Qi,Li Hongying. Effects of absorbent agent on soil moisture and the growth of schizonepeta under drought stress〔J〕. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2011,39(27):16 590 – 16 592.〕

〔31〕李杨. 保水剂与肥料及土壤的互作机理研究〔D〕. 北京:北京林业大学,2012.〔Li Yang. Study on the Interaction Mechanism of Water Retention Agent and Fertilizer and Soil〔D〕. Beijing:Forestry Universit,2012.〕

〔32〕宋永莲,王生福,巴音,等. 抗旱保水剂在紫花苜蓿种植中应用的试验报告〔J〕. 青海草业,2003,12(3):6 – 10.〔Song Yonglian,Wang Shengfu,Ba Yin,et al. Test on the effects of water absorbing reagent for alfalfa growing〔J〕. Qinghai Prataculture,2003,12(3):6 – 10.〕

〔33〕李云开,杨培岭,刘洪禄. 保水剂农业应用及其效应研究进展〔J〕. 农业工程学报,2002,18(2):182 – 187.〔Li Yunkai,Yang Peiling,Liu Honglu. Review on super absorbent polymers application in agriculture and its effects〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2002,18(2):182 – 187.〕

〔34〕石杰. 施用根际有益微生物对盆栽紫花苜蓿土壤中微生物区系的影响〔J〕. 黑龙江科学,2013,(3):17 – 23.〔Shi Jie. Effects of beneficial microorganisms in the rhizosphere on soil microflora of potted alfalfa〔J〕. Heilongjiang Science,2013,(3):17 – 23.〕

Study of soil water, nutrient and plant growth with water – retaining agent and microbial fertilizer

SONG Shuang – shuang1;SUN Bao – ping1;ZHANG Jian – feng1 ;WU Yi1.

1 *College of Soil and Water Conservation*,*Beijing Forestry University*,100083,*P. R. China*

Abstract: As a high efficiency water absorption material, polyacrylic acid potassium water – retaining agent has improved soil fertility to a large extent when mixed with fertilizer. This paper aims at investigate the effects of polyacrylic acid potassium water – retaining agent mixed with microbial fertilizers on soil moisture content, soil fertility and plant growth. Pot incubation tests were conducted to observe the growth of Pinus tabulaeformis and Medicago sativa. Then, contents of soil available N, P and K and soil moisture of those 2 plant species were tested and analyzed. Meanwhile, drought stress test also used in this paper. Results showed that polyacrylic acid potassium water – retaining agent mixed with microbial fertilizers could increase the contents of soil available N, P and K and soil moisture to varying degrees. Content change of soil available nutrient of Pinus tabulaeformis and Medicago sativa was the same, however, the best mix method was different. For annual Pinus tabulaeformis, high concentration mix method had a significant effect on soil available N content, and low and medium concentration mix method also had great impact on soil available P and K, which were reached at 12%, 35% and 36% compared with the control group. For Medicago sativa, high concentration mix method might have great impact on soil available N and P, and low and medium concentration mix method had an effect on soil available K. When there had medium concentration mix method, condition of Pinus tabulaeformis and Medicago sativa growth and soil moisture might achieve at the best. For a defined area, it was needed to consider the actual conditions when using water retaining agent and microbial agents due to the differences in soil conditions, soil moisture and nutrient characteristics. It was targeted to choose a reasonable concentration ratio to achieve influence of preserving nitrogen, releasing phosphorus and promoting potassium for plant growth.

Key words: Water – retaining agent; Microbial fertilizer; Soil moisture and fertility preservation; Plant growth